

일광항의 항만개발에 따른 수질변화에 관한 연구

이 중 우* · 국 승 기*

A Study on Changes of Sea Water Quality due to the Development Plan of Ilgwang Harbour

J. W. Lee · S. G. Gug

Key Words : 수질(Water Quality), 해수유동(Movement of Sea Water), 오염확산(Pollutant Dispersion), ADI법(Alternating Direction Implicit Method)

Abstract

It is necessary to quantitatively assess the influence of tidal currents to analysis the coastal current patterns before or after constructing offshore structures like as breakwaters. This assesment can be made through the use of simulation models designed to reproduce the water movements of the area. And it is very important to predict a phenomenon of pollutant dispersion in the area.

In this study, in order to predict the changes of sea water quality for the port development plan, Ilgwang harbour, located at the east coast of Pusan, the numerical computations were carried out. The flow patterns were investigated before and after the development of the harbour bay and coastal area connected on it. The computational models are an extension of earlier work on the flow which used the ADI Method (Alternating Direction Implicit Method) in applying to Osaka Bay by KANEKO et al. The transport of pollutant constituents depends upon the currental characteristics of the water-transporting medium. In the currental flow model, water velocities and water levels are computed throughout the regions of it. These value are then used in the mass-balance equation to obtain the pollutant-constituent transport.

As a result of this research, the present water quality of Ilgwang harbour and the coastal areas connected on it was proved out some good condition. The changes of sea water quality due to the port development plan of the Ilgwang harbour bay and the coastal area were not large compared with the present condition, but it will be likely able to get worse by increasing the semi-enclosed areas in the harbour bay. In order to improve the water quality of the area after development, the method to activate tidal exchange in the area can be needed, as a mitigation technique.

* 정회원, 한국해양대학교 교수

1. 서 론

내만이나 연안에 건설되는 해양구조물 등에 의한 주변해역의 해수유동 및 오염물질의 확산에의 영향을 예측하는 것은, 항만정비 계획상, 또는 수질 및 환경보전의 입장에서도 극히 중요하다고 하겠다. 이렇기 때문에 우선, 이러한 구조물의 건설전의 지형에 대한 수리특성을 충분히 파악하여 둘 필요가 있다. 또한 건설 후의 주변환경에 미치는 영향을 비교, 분석할 필요성이 있다.

통상, 이러한 종류의 문제에 대처하기 위하여서는, 과거의 풍부한 신뢰성이 있는 실측치가 중요한 자료로 되고 있다. 그러나 실제로 실측자료는 계절적 변화, 및 수심별 변화 등 시간적, 공간적인 변동이 현저하며, 수질오탁 기구를 구성하는 물리적, 생물·화학적인 작용의 복잡성 등으로 그 실태는 아직 충분히 파악되어 있지 않으며, 또한 어떠한 지역에는 실측이 거의 이루어지지 않아서 경우에 따라서는 그러한 자료라도 구하기는 매우 어려운 것이 우리의 실정이다.

그래서 해수 유동 및 오탁수질의 확산을 규제하는 요인 중에서 지배적인 것을 들어서 모델화하여 각각의 현상을 분석하여 갈 수밖에 없다. 이를 위하여 수치 모델이 주로 이용되고 있다.

본 연구에서는 일광항 항만개발 및 공유수면 매립 기본계획을 토대로 하여 해수유동 및 오염물 확산 시뮬레이션을 통하여 현황을 파악하고 개발후의 영향을 알아보려고 하였다.

2. 일광항 및 주변해역의 지리적 특성과 해양환경

2.1 일광항 및 해역의 지리적 특성

기장군 일광면 이천리에 위치한 이동항은 현재 방파제 등 기존의 어항시설 부족으로 태풍시 피해발생에 대비하기 위한 어항기초시설인 방파제와 몰양장을 확보 중에 있으며 항만의 특성상 항구가 남동쪽으로 개방된 형태를 취하고 있다. 일광해수욕장에서

북측으로 (주)한국유리를 지나 위치하며 간조시에는 일부 바다가 드러나기도 한다. 항만내의 극히 일부 구간의 직립안벽을 제외하고는 사석방파제와 완만한 해변으로 이루어져 있다. 지형이 북서쪽(NW)으로 만입되어 있고 동~남동(E~SE)방향이 외해로 열려 있어서 심해파의 영향을 받으며, 항내수심은 1.0 ~ 10.0m로 비교적 소규모 어항중에서 깊은 편이며 해저질은 부락 전면해상에서는 사질층이 얇게 분포하나 외해로 갈수록 두텁게 발달하고 있다.

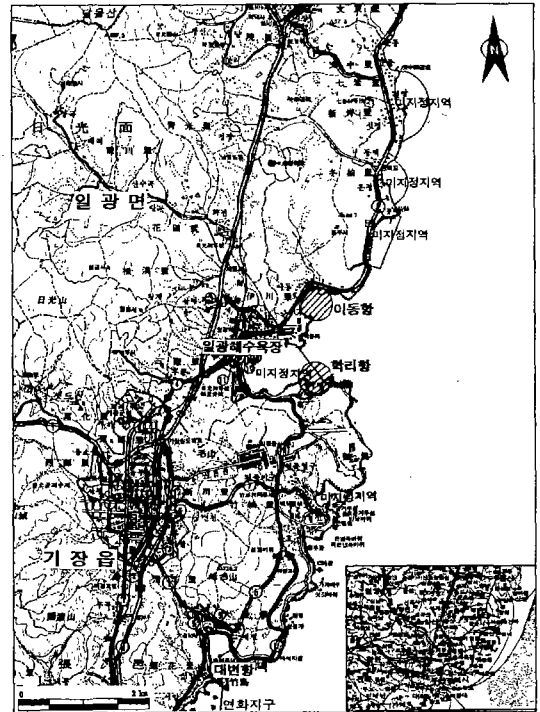


Fig. 2.1 The port development plan, Ilgwang Harbour

한편, 이동항과 마주보는 학리에 위치한 학리항은 산지성 유기해안형에 속하는 해안선은 비교적 단순한 발달을 보이며 동남해안선 연결부에는 평균고도 100~200m 내외의 해안 저구릉지대를 형성하고 있다. 몰양장 시설은 확보되어 있으나 외곽시설인 방파제가 일부 부족하여 확장 중이며 만입된 항만은 항구가 북동쪽(ENE)으로 개방된 형태이므로 이동

항보다 파랑의 영향을 다소 적게 받고 있으며, 소규모 사석방파제가 차단하여 부분적으로 정온 수역을 확보한 상태이다. 항내 수심은 1.0m~10.0m로 깊은 편이다. 위치도는 Fig. 2.1과 같다.

2.2 해양환경

바람은 항만의 외곽시설의 배치 및 평면형태와 관계되는 파향을 결정하는 주된 인자로 일광항 해역의 평균풍속은 2.1m/sec 정도이며, 최다빈도 풍향은 ESE, E 계열이다. 최근 10년간 기록된 10분간의 최대평균풍속은 1987년 8월에 NNW방향의 18.3m/sec로 나타났다.¹⁾

이동항과 학리항에 적용되는 평균해면은 49cm, 대조평균만조위 94cm, 소조평균만조위 79cm, 소조평균간조위 19cm, 대조평균간조위 4cm, 대조차 90cm, 소조차 60cm 전후를 나타내고 있으며 유속측정장비를 이용하여 관측된 항만내의 유속크기는 대략 5~8cm/sec로 반일주조의 형태를 나타내고 있다.²⁾

한편, 두 항만 전면 해역의 창조류는 외해에서 유입하여 해안선을 따라 남서류(SW)하며, 낙조류는 반대로 북동류(NE)한다. 창조류는 대략 울산항 조석의 고조전 2.5~3.0시경에 전류하며, 낙조류는 울산항 조석의 저조전 1.0~3.0시경에 일어나며 최강 창조류는 연간 평균대조기에 약 0.5~1.8knot로 흐르며, 최강 낙조류는 연간 평균대조기에 약 1.1~2.0knot로 흐른다.

대상해역은 우리나라 동해안의 일반적 특성인 여름철 태풍의 영향과 외해에서 발달한 폭풍의 영향을 많이 받는다. 전반적으로 겨울철 계절풍때의 북서풍은 내륙 해안경계에서 차단되고 있으므로 북동~동쪽 방향, 태풍시즌인 여름철에는 해안경계인 남서~남쪽을 제외하고 남동쪽 방향의 파랑에 대한 분석이 필요할 것으로 분석되었으며, 항만역은 만입된 지리적 특성 때문에 자연조건 중 조류의 영향보다 외해로부터 전달되는 파랑에너지의 영향이 외력의 주된 요소라 할 수 있다. 특히, 남쪽 방향의 심해파랑은

항만 전면해역으로 접근하면서 진행도중 남북으로 발달한 해저지형과 조류, 연안류 등의 영향으로 천수, 굴절, 저면마찰, 그리고 쇄파 등에 의해 변형하게 된다. 대상해역에 적용하고 있는 파고는 유의파를 천해 설계파고로 3.1m~5.4m(외해 심해파의 경우 5.2m~9.8m)를 선택하고 있으며, 1990년 이후 부산 피랑관측소에서 기록된 최대 유의파고는 8월에 5.1m를 기록한 경우도 있다.³⁾ 이때 파의 주기는 9.0~13.0sec의 범위에 속한다.

동해안의 특성인 해안선이 비교적 단조로우며 해안선에서 벗어나면 급격히 수심이 20~30m로 급변하며 주요 항만내의 평균 수심은 2~3m에서 5m 정도를 유지하고 있다. 해안선을 따라 소규모로 만입된 곳에 백사장이 분포되어 있으며 이동항과 학리항은 특히 일광해수욕장을 끼고 있다.

항만내의 토층분포는 상부로부터 연안 퇴적토(사력층, Silt질 점토)에 이어 풍화토, 풍화암 및 연암의 순으로 분포하며 사력층은 일광항에서 2.5~3.2m 정도이다. 일광항은 1개의 소규모 하천을 끼고 있다. 해안선이 단조로우면서도 바위로 돌출된 갑(Headland)이 곳곳에 있다.

3. 해수유동 및 오염물 확산 시뮬레이션

3.1 해수유동 검토

일광항의 개발계획에 따른 해수유동의 변화를 확인하기 위하여, 먼저 현황의 해수유동을 수치계산에 의하여 재현하여 모델의 적용을 확인하고, 이를 토대로 하여 장래의 지형에 따른 해수유동 시뮬레이션을 실시하여 개발 후의 해수유동을 예측하고자 하였다.

3.1.1 해수유동 모델

해수유동 계산은 평면 2차원 단층 모델을 ADI(Alternating Direction Implicit)법에 의해 계산하였다.⁴⁾ 이 방법은 각 방정식에 있어서, 각각의 미지량에 관한 지배방정식을 음적인 차분근사를 이용

하여, 각 차분근사식마다 미지량을 갱신해 가는 방법이다. 즉, x방향의 운동방정식을 계산하는 경우에는 x방향에 관한 항을 음해법으로, y방향에 관한 항은 양해법으로 차분근사하여 x방향의 미지량을 갱신한다.

y방향의 운동방정식을 계산하는 경우에는 y방향에 관한 항을 음해법으로, x방향에 관한 항을 양해법으로 차분근사하여 y방향의 미지량을 갱신한다. 이상과 같이 2회의 step으로 갱신된 미지량을 연속방정식에 대입하여 미지량을 갱신한다.

장파근사에 기준을 둔 평면 2차원 유체의 기초방정식은 다음과 같이 표현된다. 단, 압력항은 정수압만을 고려하는 것으로 하였다.

• 연속방정식

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [M] + \frac{\partial}{\partial y} [N] = a \quad (3.1)$$

• x방향의 운동방정식

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial UM}{\partial x} + \frac{\partial UN}{\partial y} - fN = \\ & -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_t \frac{\partial M}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_t \frac{\partial M}{\partial y} \right] \\ & - \frac{\gamma_b^2}{(h+\zeta)^2} M \sqrt{M^2 + N^2} \end{aligned} \quad (3.2)$$

• y방향의 운동방정식

$$\begin{aligned} & \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial UN}{\partial x} + \frac{\partial VN}{\partial y} + fM = \\ & -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_t \frac{\partial N}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_t \frac{\partial N}{\partial y} \right] \\ & - \frac{\gamma_b^2}{(h+\zeta)^2} N \sqrt{M^2 + N^2} \end{aligned} \quad (3.3)$$

여기서, U, V : x, y 방향의 단면평균 유속

M, N : x, y 방향의 선유량(m^2/sec)

ζ : 조위

h : 평균수심

g : 중력가속도

ν_t : 와동점성계수

γ_b^2 : 해저마찰계수

f : 코리올리계수

3.1.2 수치실험 및 분석

1) 개발전의 해수유동계산

해수유동을 해석하기 위하여 Fig. 3.1에 나타난 바와 같이 일광항의 항만개발 전의 지형에 대하여 격자(mesh)를 분할하여 해수유동 계산을 실시하였다. 대상해역의 수심분포를 Fig. 3.2에 나타냈으며, 해수유동계산의 조건은 다음과 같다.

수평격자간격 $\Delta x = \Delta y = 50 \text{ m}$

시간격자간격 $\Delta t = 1 \text{ sec}$

경계조건(개방경계): 우측 개방경계에서는 상단 개방경계와 하단 개방경계와의 조석의 위상변화차를 선형적으로 내삽

(1) 상단경계

진폭(M_2 조) $a = 27 \text{ cm}$

주기 $T = 12 \text{ hrs } 25 \text{ min.}$

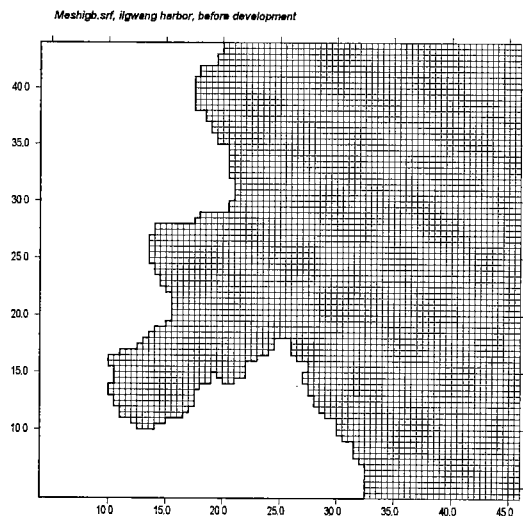


Fig. 3.1 Computational domain

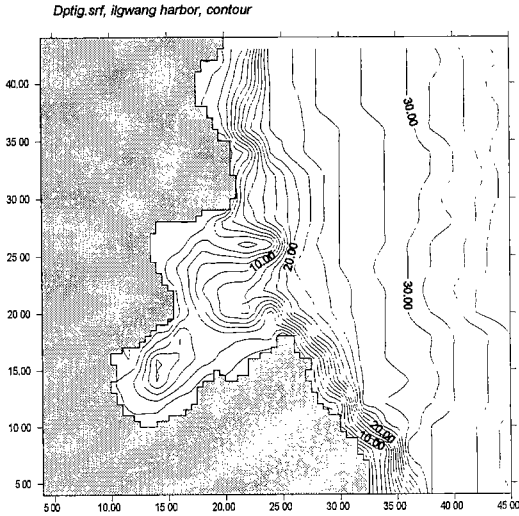


Fig. 3.2 Bathymetric chart

- 지각 $\Phi = 218$
- (2) 하단경계
- 진폭(M_2 조) $a = 27 \text{ cm}$
- 주기 $T = 12 \text{ hrs } 25 \text{ min.}$
- 지각 $\Phi = 223$
- 외동점성계수 $\nu_t = 100.0 \text{ m}^2/\text{sec.}$
- 코리올리계수 $f = 8.3 \times 10^{-5} \text{ 1/sec.}$
- 해저마찰계수 $\nu_b = 0.0026$

기존의 연구⁵⁾에서의 현지관측결과 등을 조사해보면 대상해역은 창조류때는 남서방향, 낙조류때는 북동방향으로 흐름이 강하게 발생하고 있으며, 반일주조가 탁월한 해역으로 보고되어 있다. 이러한 점을 감안하여 본 계산에서는 한국해양연구소에서 관측한 결과⁵⁾를 조화분해한 주요 4분조중에서 태음반일주조(M_2 조)의 진폭과 지각을 이용하여 개방경계의 조건으로 삼았다. 그리고 폐경계조건에서는 육지와 법선방향의 유속은 없는 것으로 하였고, 육지와 나란한 흐름에 대하여서는 non-slip조건을 적용하였다. 또한 격자(mesh)의 크기에 비하여 상대적으로 폭이 좁은 방파제 등은 선경계조건을 적용하였다.

대상해역에서의 유동의 실측자료가 거의 없는 실정이어서 부득이 하게 기존연구⁵⁾의 결과와 비교 검

토하여 계산결과를 검증하였다. 유향의 패턴등은 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.

일광항 주변해역의 유동계산의 결과는 Fig. 3.3 및 Fig. 3.4에 나타낸 바와 같다. 창조류때에는 상단경계의 북동방향에서 유입되고 있는 흐름의 영향을 받고 있으며, 이동항 주변의 돌출된 지형의 영향을 받아서 유향이 서쪽으로 편향되어 만의 안쪽으로 흘러 들어가고 있다. 또한 학리항 주변의 돌출부를 지나면서 지형의 특성에 따라서 유향은 연안을 따라서 동쪽으로 전향하게 되다가 하단경계에서 대략 남서 방향으로 흐르고 있다. 낙조류때에는 영역내의 전체적으로 상단경계를 통하여 북동 방향으로 유출되고 있으며, 일광항을 포함한 만 내에서는 지형적인 영향을 받아서 유향이 동쪽으로 편향되어 밖으로 유출되고 있다.

대상해역에서의 최대조차는 90cm이하로 비교적 조류가 미약한 곳이며 만내의 일광해수욕장에서는 거의 조류의 영향을 받지 못하고 있다. 대조기 창·낙조류 최대 유속은 약 10cm/sec 전후를 기록하였으며, 사업지역인 이동항 전면해역의 수심이 얇은 일부 구간에서는 이와 유사한 유속을 나타내었지만 학리항 전면해역에서는 최대 5cm/sec 이내로 비교적 약하게 나타났다.

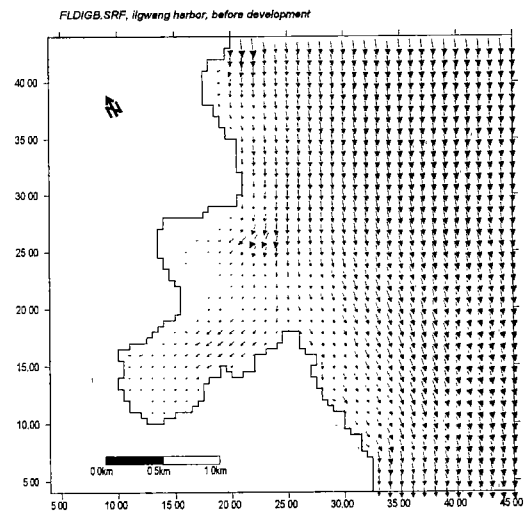


Fig. 3.3 Calculation result (Max. Flood Tide)

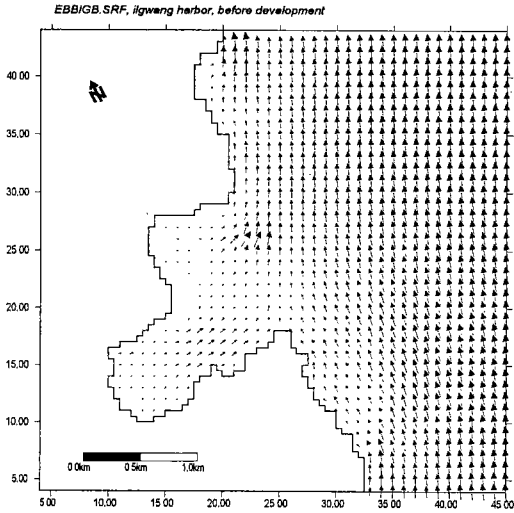


Fig. 3.4 Calculational result (Max. Ebb Tide)

2) 개발후의 해수유동계산

항만개발 후의 해수 유동을 해석하기 위하여 Fig. 3.5에 나타난 바와 같이 일광항의 항만개발 후의 지형에 대하여 격자(mesh)를 분할하여 해수유동 계산을 실시하였다. 계산의 조건은 개발 전의 조건과 동일하다.

항만개발후의 해수유동의 시뮬레이션의 결과 중에서 창조시의 조류벡터를 Fig. 3.6에 나타낸다. 주변해역의 전반적인 해수유동의 패턴은 개발전과 비교하여 현격한 차이는 없으나 공사주변에는 새로 건설되는 방파제나 변형된 지형 조건 등에 따라서 유황이 변화하고 있다. 창조시에는 상단의 개방경계에서 북동에서 유입되고 있는 흐름은 만 입구에 설치된 방파제의 영향을 받아서 유황이 동쪽으로 편향하다가 방파제의 끝단을 돌아 만 안쪽으로 유입되고 있다. 이동항과 학리항에 건설예정인 방파제의 영향을 받아서 그 주변지역에서 유속이 약해지는 것을 알 수 있다. 낙조시에도 개발전과 마찬가지로 상단 경계를 통하여 전반적으로 북동방향으로 유출되고 있으며, 만 입구에 건설 예정인 방파제의 영향을 받아서 방파제의 하단에서는 유황이 동쪽으로 편향하다가 방파제를 돌아서 북쪽으로 편향하여 유출되어

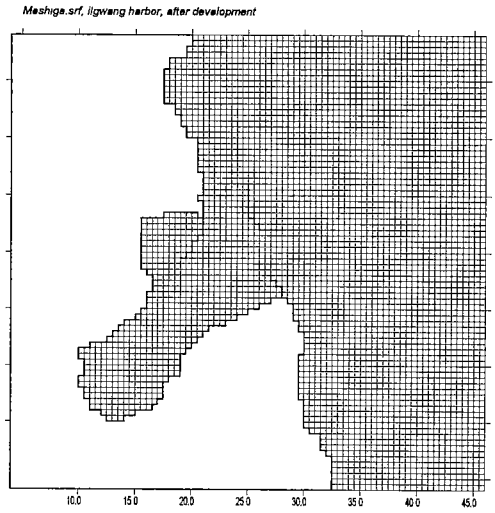


Fig. 3.5 Computational domain (After development)

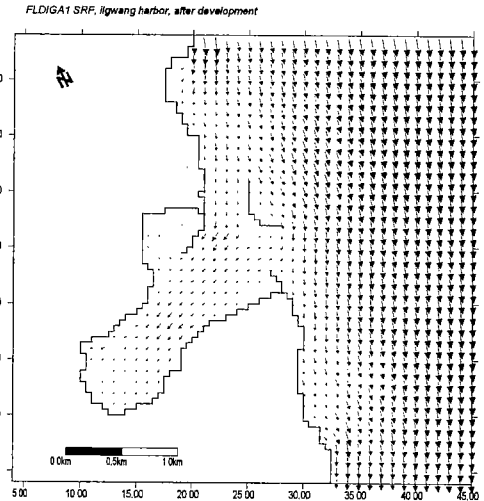


Fig. 3.6 Calculational result (Max. Flood Tide)

가고 있다.

항만개발 후의 유속은 전반적으로 크게 변하지 않으나 만 입구의 방파제 건설로 인해 이동항 부근의 수심이 얇은 구간에서 개발 이전보다 유속이 최대 1/2 이하로 감소되어 5cm/sec 부근을 기록하였으며, 이는 학리항의 전면 유속 중 최대치에 가까워지는

것으로 나타났다. 따라서 사업시행 전후의 유속차를 고려할 경우 유속변화는 만 입구의 천소역에 국한되며 다른 곳은 원래 조류가 미약하므로 특기할 만큼의 차이는 없다. 다만, 천소역에서의 유속이 작지만 현재의 일광항역에서의 순환을 주도하고 있음을 고려할 때 개발과 병행하여 내륙에서 항만으로의 오염물 유입을 차단시키기 위한 대책수립이 뒤따라야 할 것이다.

3.2 오염물 확산 검토

3.1절에의 해수유동 시뮬레이션에서 얻어진 유속 자료를 이용하여 개발 전·후 해양오염물의 확산양태를 오염물 확산 시뮬레이션을 실시하여 개발의 영향을 평가하였다.

3.2.1 오염확산모델

해양 오염확산에 대하여서는, 계산의 초기시각에 있어서 항내부에 일정하게 분포된 확산물질(농도 $C = 10.0$) 및 항내의 오염물질이 많이 배출되고 있는 한 점을 선정하여 계속적으로 오염물질을 배출시켜서, 15주기의 조석변동에 따라 항내외에 유동 확산한 후, 항내에 잔류한 확산물질의 농도를 기본으로 하여 정량적으로 평가하는 방법을 사용했다.

■ 확산계산의 기초식

• 이류확산방정식

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}[(h+\zeta)] + \frac{\partial}{\partial x}[(h+\zeta)UC] + \frac{\partial}{\partial y}[(h+\zeta)VC] \\ & = \frac{\partial}{\partial x}[(h+\zeta)D_x \frac{\partial C}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[(h+\zeta)D_y \frac{\partial C}{\partial y}] + q_m \end{aligned} \quad (3.4)$$

여기서, C : 수심평균농도

D_x, D_y : 분산계수

q_m : 유입부하량

3.2.2 수치실험 및 분석

1) 개발전의 오염물 확산 계산

현황에 대한 유동해석결과와 유속 자료를 이용하여 Fig. 3.1에 나타난 일광항 항만개발전의 지형에 대하여 계산영역을 설정하여 오염물 확산 계산을 실시하였다. 오염물의 확산계산에는 Komatsu et al.⁶⁾에 의해서 개발 검증되고, Falconer and Liu⁷⁾에 의해서 재차 확인된 모델이 사용되었다. 오염물 확산의 계산조건은 다음에 표시하는 바와 같다.

계산조건 및 경계조건

수평격자간격 $\Delta x = \Delta y = 50m$

시간격자간격 $\Delta t = 20sec.$

분산계수 $D_x, D_y : 1.0 \times 10^4 cm^2/sec.$

개방경계에 있어서 경계조건

창조시 $C = 0.0$

낙조시 $\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} = 0$

먼저 오염물 확산 계산의 초기 조건으로서 Fig. 3.7에 나타난 바와 같이 상대적으로 인구의 밀집지역에 속하는 항내에서 계속적으로 생활오수 등이 발생하여 하천을 통하여 항내에 유입되고 있는 점을 감안하여 이천천 주변의 항내의 1점을 선정하여 $C=10.0$ 의 농도를 일정하게 유지하였으며, Fig. 3.8에 나타난 바와 같이 항 전반에 유출된 농도와 같은 오염물질로 채워진 경우를 상정하여 계산을 실시하였는데, 조석의 주기변화에 따른 오염물질의 확산 양태를 알아보기 위하여 해수유동 계산에서 저장해두었던 조류 Data를 이용하여 15주기까지 계산을 행하였다.

5조석 주기 후 및 15조석 주기 후의 오염물 확산 계산결과를 Fig. 3.9 및 Fig. 3.10에 나타낸다. 일광항 지역이 크게 폐쇄되지 않고 또한 인접해역이 바로 넓은 동해와 연결되기 때문에 항내에서 배출된 오염물질은 시간이 지남에 따라 쉽게 퍼져나가서 정확되고 있는 것으로 나타났다.

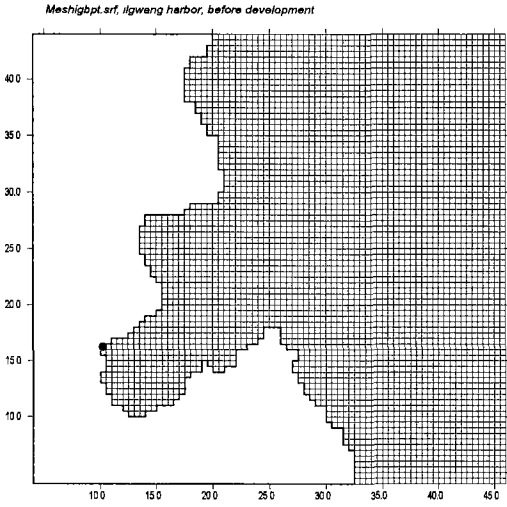


Fig. 3.7 Point of pollutant discharge (Before development)

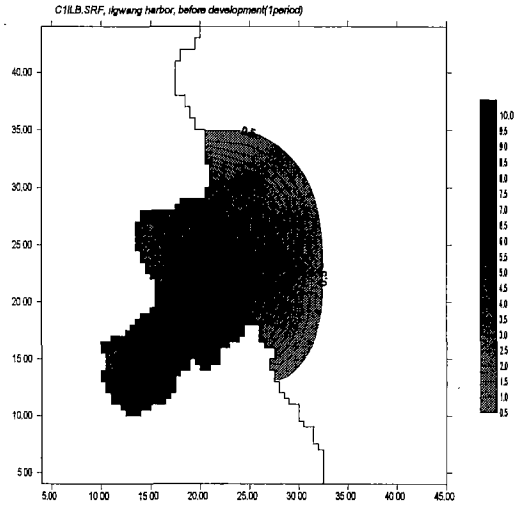


Fig. 3.9 Distribution of contaminant (After 5 tidal cycles) - Before development

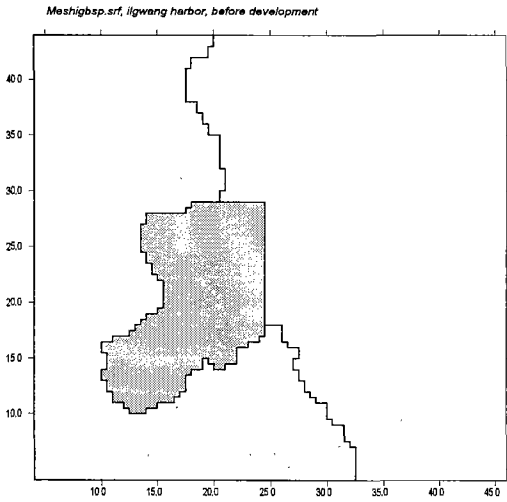


Fig. 3.8 Distribution of initial contaminant (Before development)

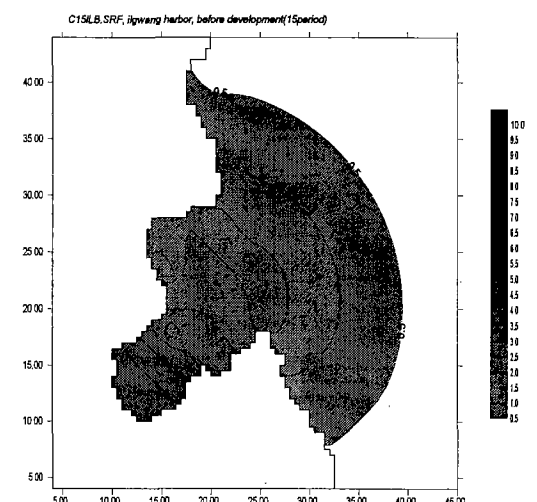


Fig. 3.10 Distribution of contaminant (After 15 tidal cycles) - Before development

또한 Fig. 3.14에 표시된 항내구역에 잔류하는 오염물질의 총량의 시계열 변화에서는, 계산초기에 비하여 5조석 주기 후에는 50%정도 감소되고 있으며, 15조석 주기 후에는 감소량이 거의 80%에 육박하고 있다. 결과적으로 현재의 일광항은 일상적으로 투입되는 오염물질에 대하여는 해수교환능력이 뛰어나

서 항내에 크게 잔류되지 않고 항외로 배출되어 비교적 수심이 깊은 곳에 퍼져나가 그 농도가 희박해지고 있다.

- 2) 개발 후의 오염물 확산 계산
항만개발 후의 유동해석결과의 유속 자료를 이용

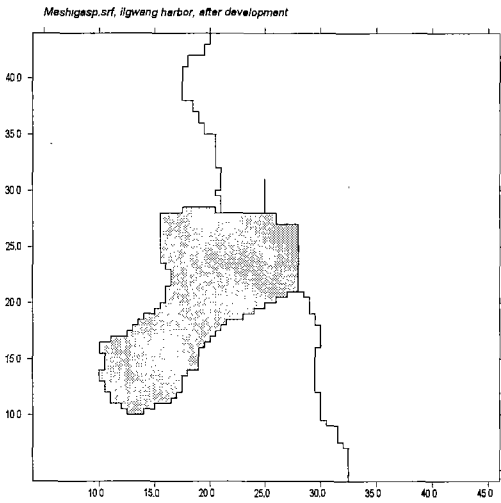


Fig. 3.11 Distribution of initial contaminant (After development)

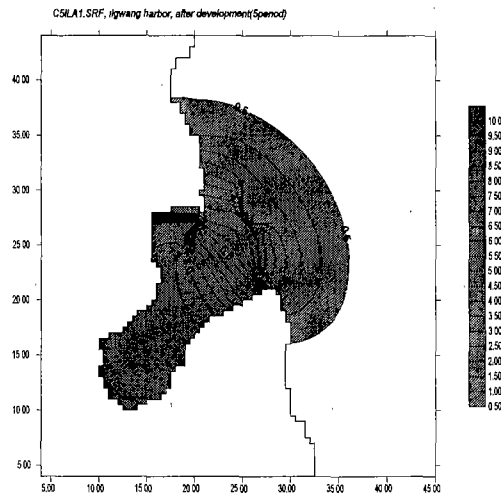


Fig. 3.12 Distribution of contaminant (After 5 tidal cycles) - After development

하여 Fig. 3.5에 나타난 일광항 항만개발 후의 지형에 대하여 계산영역을 설정하여 오염물 확산 계산을 실시하였다. 오염물 확산의 계산조건은 현황의 계산과 동일하다.

먼저 개발전과 마찬가지로 오염물 확산 계산의 초기 조건으로서는 상대적으로 인구의 밀집지역에 속

하는 항내에서 계속적으로 생활오수 등이 발생하여 하천을 통하여 항내에 유입되고 있는 점을 감안하여, 이천천 주변의 항내의 1점을 선정하여 C=10.0의 농도를 일정하게 유지하였으며, Fig. 3.11에 나타난 바와 같이 항 전반에 유출된 농도와 같은 오염물질로 채워진 경우를 상정하여 계산을 실시하였는데, 조석의 주기변화에 따른 오염물질의 확산 양태를 알아보기 위하여 해수유동 계산에서 저장해두었던 조류 Data를 이용하여 15주기까지 계산을 행하였다.

5조석 주기 후 및 15조석 주기 후의 오염물 확산 계산결과를 Fig. 3.12 및 Fig. 3.13에 나타내었다. 이 그림에서 점진적인 오염물의 확산의 정도를 파악할 수 있다.

또한 Fig. 3.14에 항만의 개발전과 개발후의 항내에서의 오염물질의 잔유율의 시간적인 변화를 나타냈다. 여기에 나타난 바와 같이 항내구역에 잔류하는 오염물질의 총량의 시계열 변화에서는 계산초기에 비하여 5조석 주기 후에는 32%정도가 감소되고 있으며, 15조석 주기 후에는 감소량이 54%정도에 이르고 있다. 결과적으로 개발지구에 새로이 건설예정인 방파제 등에 의해서 항만이 개발 전에 비하여 폐쇄성이 증가하기 때문에 해수교환율이 약간 떨어지고 있는 것을 알 수 있다. 개발에 따른 해수교환율의 저하에 대한 대안으로서는 Komatsu et al.⁸⁾, 국⁹⁾등이 연구 개발한 해저조도를 이용한 폐쇄성 해역에 있어서의 수질개선 방안 등 Mitigation기술의 도입 등이 고려될 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

조석에 의한 장주기 해수유동과 오염물 확산 실험은 천해조석과 이론식에 ADI법을 적용하여 50m 간격의 격자로 모델을 수립하고 대상해역의 개발 전·후에 태음반일주조에 대한 거동특성을 모델실험으로 분석하여 비교하였으며, 오염이 가장 심한 항만내부에 오염물질을 배출시켜서 15조석주기 동안의 조석변동에 따른 유동확산을 실험하고 항만내에 잔류한 확산물질의 농도를 정량적으로 평가해

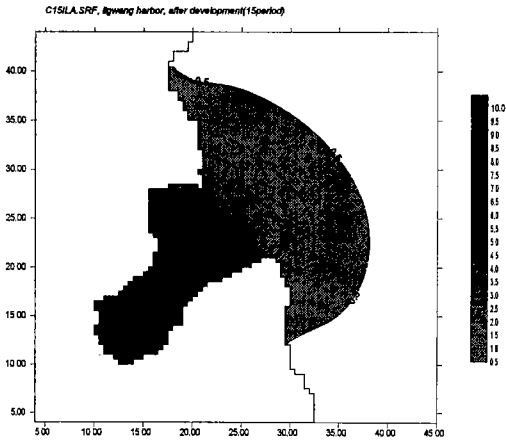


Fig. 3.13 Distribution of contaminant (After 15 tidal cycles) - After development

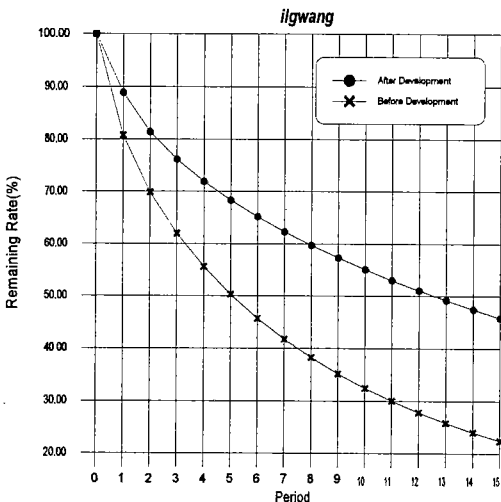


Fig. 3.14 Remaining rate of contaminant in the Harbour Bay (Before and after development)

서 하였다.

수치 시뮬레이션을 통한 검토결과 일광항과 주변 해역은 우리나라 동해안의 특징인 조차가 작고 외해역에 바로 개방되어 있으므로 만입된 해역에서는 조류가 미약하다. 따라서 일부 차폐된 해역에서는 호

름이 약하더라도 개방해역으로 쉽게 확산되어가는 것을 알 수 있다. 그러나 여전히 수질개선을 위한 노력은 있어야 한다. 일광항의 경우는 개발 후에도 여전히 일광해수욕장을 유지시키게 되므로 길이 방향으로 발달한 항만의 평면적 특징 때문에 발생하는 해수순환의 제약을 극복하여 순환을 끌어올리기 위한 별도의 방법이 필요하다.

참고문헌

- 1) 기상청 : 기상연보, 1977-1996.
- 2) 부산광역시 : 제2종어항(대항항의 2개항)시설사업 환경영향평가서(이동항, 학리항), 1997.
- 3) 해운항만청 : 1994년도 파랑관측자료분석 및 통계분석(1990-1994)보고서, 1995.
- 4) 金子安雄, 堀江毅, 村上和男 : ADI法による潮流汚染擴散の数値計算-大阪灣に適用した場合について-港灣技術研究所報告, 第14卷 第1號, 1975. 3.
- 5) 부산광역시 : 제2종어항(대변항의 2개항)시설사업 환경영향평가서(초안), 1996.
- 6) Komatsu et al. : Numerical Calculation of Pollutant Transport in One and Two Dimensions, Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 3, No. 2, 1985.
- 7) Falconer, R. A. and Liu, S. : Modeling Solute Transport Using QUICK Scheme, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 53, Part 4, 1988.
- 8) Komatsu et al. : Control and Ceation of Tidal Reidual Current in a Semi-enclosed Bay by Bottom Roughness With Directional Resistance Characteristics, The 27th Congress of the International Association for Hydraulic Research (IAHR), 1997. 8.
- 9) 국승기 : 폐쇄성 해역에 있어서의 새로운 수질개선책에 관한 연구, 한국항만학회, 제12권 1호, 1998. 6.